第 37 卷第 2 期　　生　态　学　报　　Vol.37,No.2
2017 年 1 月　　ACTA ECOLOGICA SINICA　　Jan.,2017

DOI: 10.5846/stxb201507271566
周在明, 杨燕明, 陈本清.滩涂湿地入侵种互花米草植被覆盖度的高空间分辨率遥感估算.生态学报,2017,37(2):505-512.
Zhou Z M, Yang Y M, Chen B Q.Estimating the *Spartina alterniflora* fractional vegetation cover using high spatial resolution remote sensing in a coastal wetland.Acta Ecologica Sinica,2017,37(2):505-512.

滩涂湿地入侵种互花米草植被覆盖度的高空间分辨率遥感估算

周在明*, 杨燕明, 陈本清
国家海洋局第三海洋研究所, 厦门　361005

摘要: 互花米草是沿海滩涂生态系统的重要入侵物种,其分布状况和覆盖度是湿地生态研究的重要参数和基础。以宁德三沙湾(三都澳)滩涂湿地为研究区,以 SPOT6 6 m 空间分辨率卫星影像为数据源,对互花米草分布和植被覆盖度进行研究,并与同期 10 cm 空间分辨率无人机影像进行比较验证。结果表明,影像覆盖区域内互花米草总面积为 20.19 km^2,其中蕉城区互花米草分布较广,面积为 9.63 km^2,占研究区互花米草总面积的 47.70%。互花米草植被覆盖度整体上以 40%—60%和 60%—80%的中、高覆盖度分布为主,其分布面积分别为 5.44 km^2和 4.95 km^2,占互花米草总分布面积的 26.92%和 24.52%,而 40%以下的低覆盖度和 80%以上较高覆盖度分布相对较少。SPOT6 遥感影像估算得到的互花米草植被覆盖度具有较好的精度,与无人机影像值之间的均方根误差 RMSE 为 0.117,线性回归决定系数 R^2为 0.918,可用于滩涂湿地植被覆盖度分析。

关键词: 滩涂湿地;互花米草;高分辨率遥感;无人机;植被覆盖度

Estimating the *Spartina alterniflora* fractional vegetation cover using high spatial resolution remote sensing in a coastal wetland

ZHOU Zaiming*, YANG Yanming, CHEN Benqing
Third Institute of Oceanography State Oceanic Administration, Xiamen 361005, *China*

Abstract: *Spartina alterniflora* is an important invasive species in coastal beach ecosystems, and its distribution and cover are basic parameters that affect the ecology of these wetlands. In this study, *S. alterniflora* distribution and fractional vegetation cover were investigated, using high spatial resolution satellite remote sensing images from SPOT6 (6 m), and low altitude Unmanned Aerial Vehicle (UAV) images (10 cm) from Sansha Bay (San Du Ao). The latter is a typical coastal wetland area in Ningde, Fujian Province, China. For the extraction of SPOT6 remote sensing information, support vector machine and maximum likelihood classification methods were explored. In addition, a geographic information system (GIS) technique was used to reduce errors. As a result, an accurate *S. alterniflora* distribution map was obtained. Furthermore, the normalized difference vegetation index (NDVI) of image pixels was calculated for the *S. alterniflora* distribution area. Subsequently, with the NDVI of pure *S. alterniflora* pixels and pure beach soil pixels, the fractional vegetation cover could be calculated. *S. alterniflora* area was 20.19 km^2 in the total study region. *S. alterniflora* area in the Jiaocheng district was 9.63 km^2 and was distributed mainly in Zhangwan and Southern Jiaocheng, accounting for 47.70% of the total study area. *S. alterniflora* area in Fuan County was 5.20 km^2, was distributed mainly in Yantian Bay and Magang Bay, and accounted for 25.76%. The fractional vegetation cover of *S. alterniflora* was mostly a medium (40%—60%) and a

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2015J05085);国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费项目(海三科 2012023);促进海峡两岸科技合作联合基金资助项目(U1405234)

收稿日期: 2015-07-27;　**网络出版日期:** 2016-06-13

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhouzaiming@tio.org.cn

high degree (60%—80%) cover. In contrast, much less of the *S. alterniflora* cover displayed a low degree, (<40%) or much higher degree (>80%), of fractional cover. Statistical tests indicated that the fractional vegetation cover area of 40%—60% and 60%—80% represented 5.44 km^2 and 4.95 km^2, respectively, and accounted for 26.92% and 24.52% of the total area, respectively. Overall, the fractional vegetation cover area of a medium and high degree was 10.39 km^2, and accounted for 51.44% of the whole *S. alterniflora* area. Based on these results, it is necessary to increase the monitoring and additional studies on *S. alterniflora* in Sansha Bay. In addition, relevant measures should be taken to reduce biological invasion damage, and to preserve the efficiency of this coastal wetland′s ecological functioning. To evaluate the estimation accuracy of the *S. alterniflora* vegetation cover, 26 sample sites were selected randomly according to the overlapping SPOT 6 and UAV image region. An accuracy analysis indicated a root mean square error (RMSE) of 0.117, and a determination coefficient R^2 of 0.918. Therefore, our *S. alterniflora* fractional vegetation cover results, as estimated by SPOT6 high spatial resolution remote sensing, had a satisfactory precision. These results could therefore be used as a reference for ecological coastal wetland research.

Key Words: coastal wetland; *Spartina alterniflora*; high spatial resolution remote sensing; unmanned aerial vehicles (UAV); fractional vegetation cover

植被覆盖度是指单位面积上的植被垂向投影覆盖面积[1],作为植被生长状况的直观量化指标,在很大程度上反映了植被的基本状况,是区域植被监测研究的基础,被广泛用于植被变化监测、生态环境调查与综合评价,以及水土保持等诸多研究领域[2-3];是水文模型、气候模型和生态系统模型中的重要参数[4-6]。因此,高精度的估算植被覆盖度对水文、生态、全球变化等研究领域具有重要意义。

卫星遥感是获取地面现势性资料的重要手段,并已成为植被覆盖度区域监测研究的主要途径[7]。近年来发展起来的低空无人机遥感,是卫星遥感的重要补充,以其灵活高效性成为海岸带高精度数据获取的有利工具[8-9]。互花米草(*Spartina alterniflora*),作为外来引进物种由于其良好的适应性和旺盛的繁殖能力,造成了爆发式大面积的扩散蔓延,使滩涂湿地生态结构改变、生物多样性降低,生态脆弱性增大,成为生物入侵问题中的热点[10-12]。然而,受滩涂交通通达性的限制,现场实地调查费时费力,特别是区域尺度的调查研究和精度检验难度较大,为了获取互花米草高精度的植被覆盖度信息,掌握其扩散发展趋势,就需要充分发挥高分辨率卫星遥感和低空无人机遥感的空间监测优势。

本文以东南沿海宁德三沙湾(三都澳)为研究区,以 SPOT6 高分辨率卫星影像和低空无人机遥感影像为数据源,对互花米草分布和其植被覆盖度进行研究,为滨海湿地生态环境研究提供参考依据和基础数据。

1　研究区概况

三沙湾(三都澳)位于福建省宁德市境内,地处霞浦、福安、蕉城、罗源四县(区)滨岸交界处(图 1),是一个半封闭港湾,地形口小腹大,四周群山环绕,海岸线曲折,滩涂宽阔,湿地资源丰富。三沙湾属于中亚热带季风湿润气候,气候温暖,光照充足,年均气温 16—19℃。

2　数据来源

本研究通过编程订购获取了研究区 SPOT6 多光谱影像,覆盖范围 26°36′—26°51′N,119°33′—119°49′E,包括蓝光、绿光、红光和近红外 4 个波段,影像空间分辨率 6 m,中心点坐标为 26°43′35″N,119°41′15″E,影像获取时间为 2013 年 10 月 27 日。在影像获取的同期,对研究区内的飞行试验区进行了无人机低空控制飞行(图 1),获取了 10 cm 空间分辨率的低空无人机影像。对获取的 SOPT6 遥感影像和低空无人机影像均通过正射处理得到了用于进一步分析应用的正射影像。

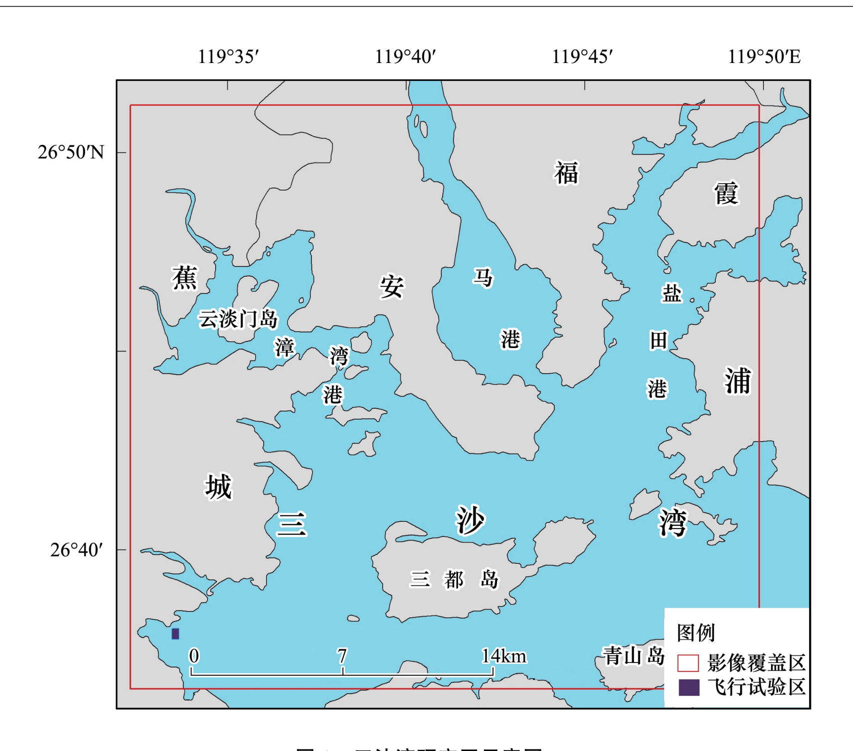


图 1　三沙湾研究区示意图

Fig.1　The Sansha Bay study area

3　互花米草的空间分布

SPOT6 多光谱影像的光谱特征并不突出,但其空间分辨率较高,地物纹理特征明显。应用支持向量机 SVM 方法和最大似然法进行地物划分,并利用 GIS 对基于光谱特征的分类结果进行提高,得到影像覆盖区互花米草分布图(图 2)并对其进行统计(表 1)。可见,影像覆盖区内的互花米草主要分布在三沙湾近岸淤泥潮滩中,蕉城、福安、霞浦和三都岛近岸均有不同程度的生长发育,既有大片连续分布也有小片斑块状零星分布,互花米草已经成为潮间带滩涂上的优势物种。这与三沙湾是半封闭型的内湾,水流平缓,泥滩发育,颗粒细小有关,加之适宜的气候条件,形成了适合互花米草的生长环境。在这样的生长条件下,人为活动干预少的岸滩成为大片的互花米草分布场,而岸边的围垦养殖活动、海洋工程施工对互花米草的生境会造成一定程度的破坏,加之滩涂中交错纵横的水沟一定程度上阻隔了互花米草的连片分布。由图 2 可知互花米草多数生长在离岸线 100—500 m 之间的垂直距离范围内,而最远的分布距离岸线超过 2 km,这与已有的研究相一致[13],可见互花米草的分布受潮水淹没的影响与潮位有密切的关系,主要分布在潮间中上带部位,符合互花米草生长的水文与地形条件,受互花米草生态位的限制其扩展与分布以平行于海岸线方向为主[14]。影像覆盖范围内互花米草的总面积为 20.19 km^2,其中蕉城区互花米草分布较为广泛,面积为 9.63 km^2,占研究区互花米草总面积的 47.70%,多数分布在北部漳湾港附近和蕉城南端的潮滩中;福安近岸互花米草面积 5.20 km^2,占米草总

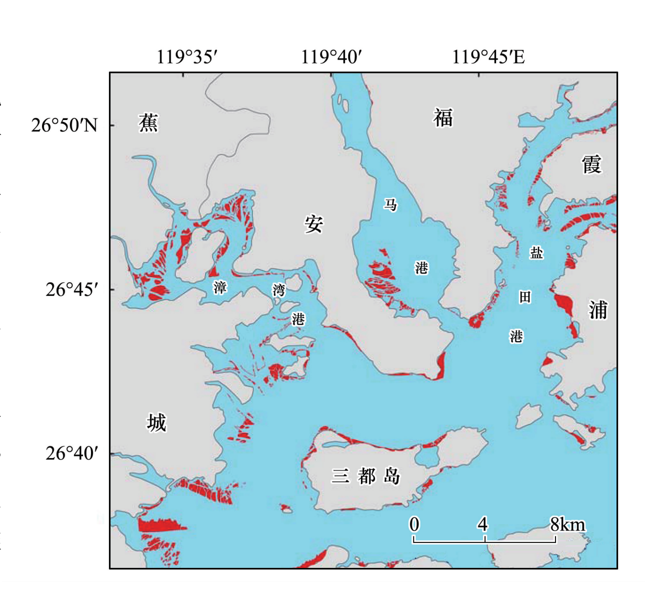


图 2　三沙湾互花米草分布图(红色区域)

Fig.2　The *Spartina alterniflora* distribution map of Sansha bay (the red region)

面积的 25.76%,主要分布在盐田港和马港近岸。

表 1 三沙湾互花米草分布面积统计表

Table 1 The distribution area statistics of *Spartina alterniflora*

分布区域 Distribution district	分布面积 Distribution area/km^2	面积比例 Area proportion/%
霞浦	3.90	19.32
福安	5.20	25.76
蕉城	9.63	47.70
三都岛	1.46	7.22

对于三沙湾互花米草的分布,孙飒梅的研究表明,该区互花米草的入侵面积为 80 km^2[13];方民杰的研究结果认为三沙湾互花米草的分布面积为 62.45 km^2,位居福建省各海湾首位,而整个福建沿岸海域互花米草总面积为 99.24 km^2[15];左平等的调查结果认为福建全省沿海互花米草的入侵面积为 41.66 km^2[16]。综合上述结果和本研究,可以发现互花米草的入侵面积存在一定的差异,作者认为主要存在以下几个方面的原因:研究区范围面积不一致,根据孙飒梅估算其研究区面积约为 1866.91 km^2[13],而本研究面积约为 801.288 km^2,未包含东吾洋近岸海域(图 3),而其它的相关研究未给出明确的区域范围。其次,与本研究相比,对照孙飒梅[13],原有的互花米草分布区发生了较大的变化,在马港东岸原有的大片滩涂已经开发建设成为大型的发电厂和港口码头,漳湾港近岸也在开发建设临港工业区,此外区域内大型铁路桥梁的建设等对互花米草的分布也造成一定的影响。再者,受影像分辨率的影响,以往研究多以 TM 30 m 空间分辨率影像为主,可能存在对近岸植被和地物等的误判现象。

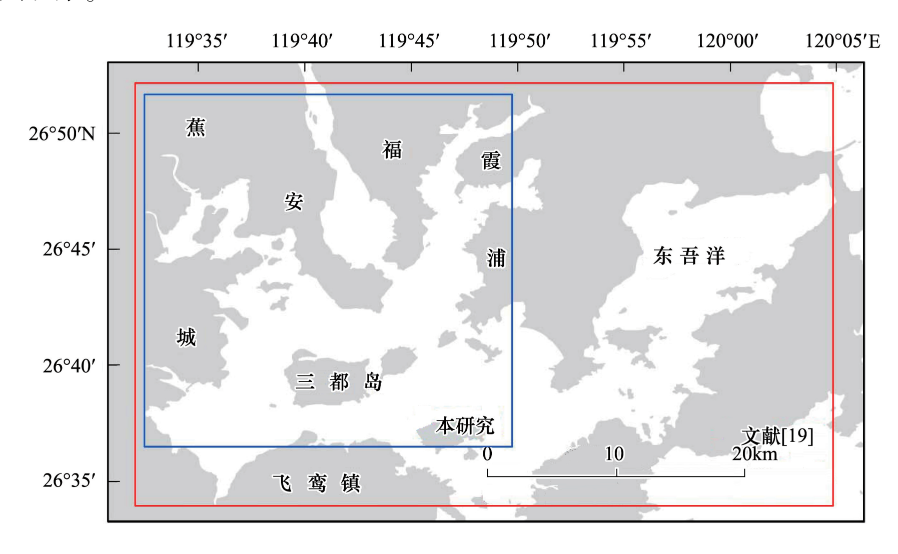


图 3 不同研究区比较

Fig.3 Comparison of the different study area

4 互花米草植被覆盖度

4.1 NDVI 指数选取

归一化植被指数(NDVI)是被广泛应用的植被指数,是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,并且经比值处理可以部分消除与太阳高度角、卫星观测角等有关的辐照度影响[17]。其计算公式如下(式 1):

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R)/(\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)$$

式中,ρ_{NIR} 为近红外波段反射率,ρ_R 为可见光红波段反射率,对应 SPOT6 多光谱影像的 B3 红光波段(625—695 nm)和 B4 近红外波段(760—890 nm)。

植被覆盖度与 NDVI 的关系可用公式 2 表示:

$$f_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \tag{2}$$

式中,$NDVI_{soil}$为滩涂或无互花米草植被覆盖区域的 NDVI 值,$NDVI_{veg}$是互花米草全覆盖区的 NDVI 值;理论上,低植被覆盖像元最小值 $NDVI_{soil}$应接近于 0,而高植被覆盖像元最大值 $NDVI_{veg}$应接近 1,然而,由于地表湿度、粗糙度等因素的影响,使得 $NDVI_{soil}$会有负值出现。此外,由于植被类型的差异及植被的季节变化 $NDVI_{veg}$值也有很强的时空异质特征[18]。

为了避免使用固定 $NDVI_{soil}$值和 $NDVI_{veg}$值所带来的误差,本研究基于互花米草的空间分布和地物类型作为计算 $NDVI_{soil}$和 $NDVI_{veg}$的依据。根据研究区的 SPOT6 影像,求得互花米草分布区每个像元的 NDVI 值,并对其进行频率统计。对照影像信息可以发现,NDVI 负值多出现在残留水体覆盖区,因此本研究将 NDVI 负值像元去掉,像元数为 973 个(表 2)。结合图 2 可知互花米草分布区像元个数足够多,且 SPOT6 影像的空间分辨率较高,因此集合中具有 NDVI 最大值的像元互花米草植被覆盖度可达 100%,具有 NDVI 最小值的像元植被覆盖度为 0[19]。

根据植被覆盖研究中纯像元 NDVI 值的确定方法[20-21],本研究取累积频率 95%的 NDVI 值为 $NDVI_{veg}$。由表 2 可见,NDVI 值在 0—0.3 之间的累积频率为 98.33%,进一步计算表明 NDVI 值在 0—0.26 之间的累积频率超过 95%,因此,取 0.26 作为 $NDVI_{veg}$。去除负值的影像像元中 NDVI 的最小值 0 作为裸露滩涂土壤 $NDVI_{soil}$。

表 2　三沙湾互花米草影像像元 NDVI 值统计表

Table 2　Statistics of different pixels NDVI values in Sansha bay

NDVI 值 NDVI values	像元数 Pixel number	总像元数 Total pixel number	概率分布 Percentage/%
-0.1—0	973	560833	0.17
0.0—0.1	158220	560833	28.21
0.1—0.2	280169	560833	49.96
0.2—0.3	113058	560833	20.16
0.3—0.4	6799	560833	1.21
0.4—0.45	1614	560833	0.29

4.2　覆盖度分布

根据以上 NDVI 的取值并结合公式 2,从而得到研究区互花米草植被覆盖度分布图(图 4)。总体看,三沙湾内互花米草植被覆盖度涵盖 0—100%之间的不同等级范围,在空间上呈现覆盖度多等级分布的格局,并具有一定的连续性、渐变性和区域异质性。根据对植被覆盖度等级的划分[22],并结合本研究可见,研究区内互花米草植被覆盖度以 40%—60%和 60%—80%的中、高等级分布为主,而 40%以下的低覆盖度和 80%以上较高覆盖度分布相对较少。马港、盐田港近岸互花米草植被覆盖度的中、高等级分布均一性较为明显(A);漳湾港内云淡门岛以北互花米草以中、低覆盖度分布为主(B);蕉城以南互花米植被覆盖度的低、中、高等级均有不同程度的分布;福安南部和三都岛以北的互花米草则以 80%—100%的较高覆盖度分布为主。

对图 4 中不同等级的互花米草植被覆盖度的分布面积进行统计(表 3),结果显示,研究区内 40%—60%和 60%—80%的中、高等级互花米草植被覆盖度分布面积分别为 5.44 km^2和 4.95 km^2,占互花米草总分布面积的 26.92%和 24.52%,总体上,中高覆盖度区域面积为 10.39 km^2占互花米草总面积的 51.44%;20%—40%的低覆盖度互花米草分布面积为 3.95 km^2,占总面积的 19.55%;而小于 20%的较低覆盖度和大于 80%的较高覆盖度等级的互花米草分布面积分别为 2.62 km^2和 3.23 km^2,占总面积的 13.01%和 15.99%。

综上可见,由于研究区域内多以 40%—80%之间的中、高等级覆盖度的互花米草分布为主,且超过 60%的高和较高植被覆盖度区域占有一定的比例,约为 40.51%,因此需要注重互花米草对三沙湾滩涂湿地生态结构的改变,加强区域扩散和长势监测研究,以采取必要的措施减轻互花米草对湿地生态的破坏,保护湿地生态功能的合理性和高效性。

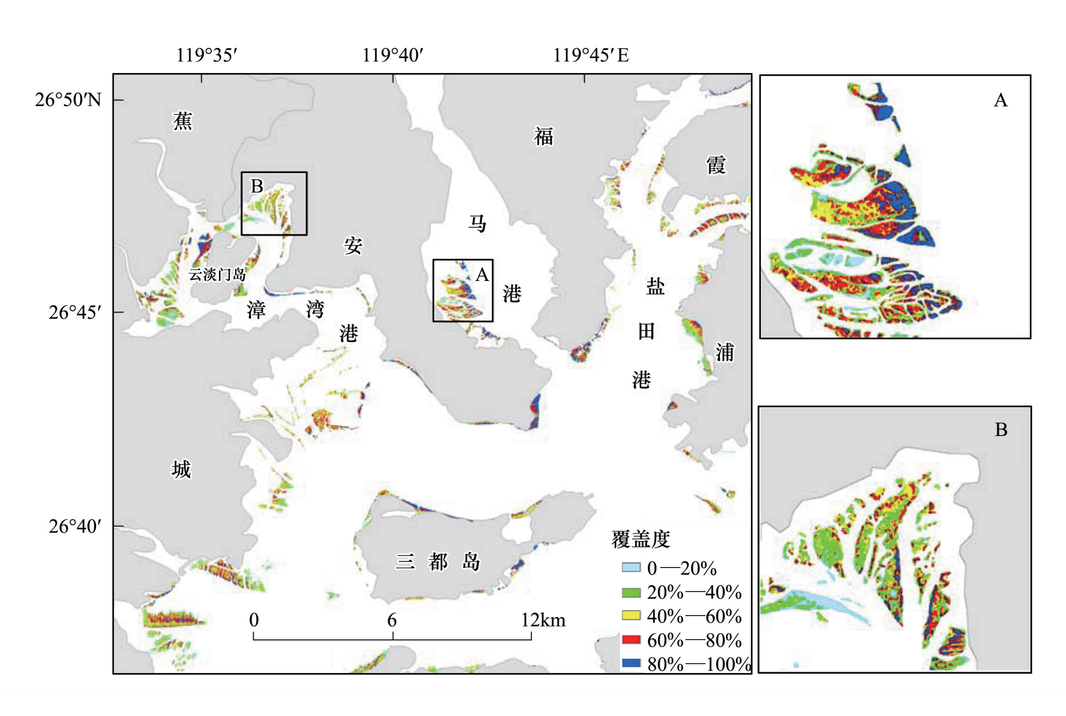


图 4　三沙湾互花米草植被覆盖度分布图

Fig.4　The fractional vegetation cover distribution map of *Spartina alterniflora* in Sansha bay

表 3　研究区互花米草植被覆盖度统计

Table 3　Statistics of *Spartina alterniflora* fractional vegetation cover in Sansha bay

覆盖度范围/% Region size	像元数 Pixel number	分布面积/km² Distribution area	米草总面积/km² Total area	概率分布/% Percentage
0—20	72970	2.62	20.19	13.01
20—40	109663	3.95	20.19	19.55
40—60	151021	5.44	20.19	26.92
60—80	137513	4.95	20.19	24.52
80—100	89666	3.23	20.19	15.99

4.3　精度检验

为了分析应用 SPOT6 遥感影像估算得到的互花米草植被覆盖度的准确性，本研究以 10 cm 空间分辨率低空无人机正射影像为基础进行植被覆盖度精度检验。

随机选取无人机影像与 SPOT6 影像重合区域的 26 个样点（图 5），为了减少无人机与 SPOT6 影像之间的几何配误差，以 SPOT6 影像采样点对应的像元为中心，选取 2×2 像元区域，计算该区互花米草植被覆盖度的平均值作为植被覆盖度的估算值。同时在无人机正射影像上找出对应的样点区域，统计互花米草植被的面积，计算植被面积占该区域总面积的百分比，得到互花米草植被覆盖度的真实值。

以均方根误差 RMSE 和决定系数 R^2 评价上述基于 NDVI 的互花米草植被覆盖度的估算结果。计算得估算值与真实值之间的互花米草植被覆盖度的均方根误差 RMSE 为 0.117，线性回归决定系数 R^2 为 0.918

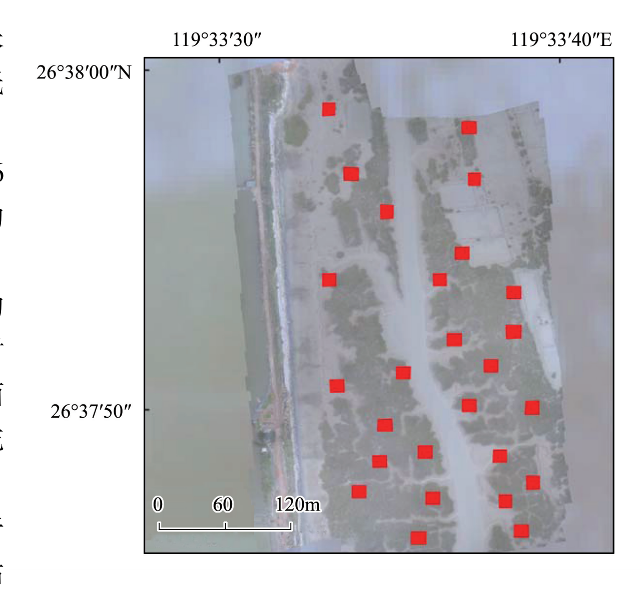


图 5　验证区无人机影像与样点分布图

Fig.5　The UVA image and samples of the tested region

(图 6),具有较好的精度,验证结果比较令人满意。由图 6 可见,当真实值在 0—40%时模型估算较好,绝对误差较小,在 10%以内,而当真实值超过 40%时 SPOT 6 遥感模型估算值稍微偏小,绝对误差在 20%以内,因此基于 NDVI 指数的 SPOT 6 遥感影像估算得到的互花米草植被覆盖度可用于滩涂湿地互花米草的植被覆盖度分析。

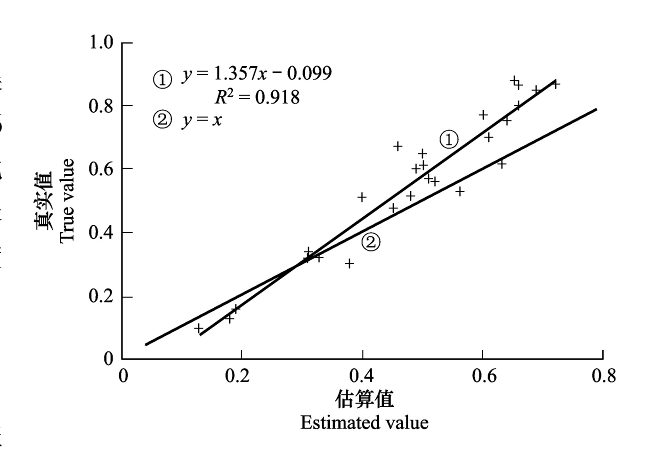


图 6　植被覆盖度散点图

Fig.6　The scatter diagram of fractional vegetation cover based on NDVI

5　结论

应用 SPOT6 6 m 空间分辨率影像获取了影像覆盖区内三沙湾互花米草的分布情况,总面积为 20.19 km^2,其中蕉城区互花米草分布面积为 9.63 km^2,占研究区互花米草总面积的 47.70%,多分布在北部漳湾港附近和蕉城南端的潮滩中;福安近岸互花米草面积 5.20 km^2,以盐田港和马港为主要分布区。互花米草主要分布在近岸 100—500 m 之间淤泥潮滩中,而最远的分布距离超过 2 km,互花米草已经成为潮间带滩涂上的优势物种。

三沙湾湾滩涂湿地互花米草覆盖度以 40%—60%和 60%—80%的中、高等覆盖度为主,分布面积分别为 5.44 km^2和 4.95 km^2,占总面积的 26.92%和 24.52%,小于 20%的较低覆盖度和大于 80%的较高覆盖度区域的互花米草面积分别为 2.62 km^2和 3.23 km^2,占总面积的 13.01%和 15.99%。对覆盖较高的区域需要注重监测研究防止对湿地生态功能的破坏。

以低空无人机 10 cm 空间分辨率影像为真实值对 SPOT6 估算得到的互花米草植被覆盖度进行检验,估算值与真实值之间均方根误差 RMSE 为 0.117,线性回归决定系数 R^2为 0.918,具有较好的精度,SPOT6 遥感影像估算得到的植被覆盖度可用于滩涂湿地互花米草的植被覆盖度分析研究。

参考文献(References):

[1] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, Rundquist D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1): 76-87.

[2] Jing X, Yao W Q, Wang J H, Song X Y. A study on the relationship between dynamic change of vegetation coverage and precipitation in Beijing's mountainous areas during the last 20 years. Mathematical and Computer Modelling, 2011, 54(3/4) 1079-1085.

[3] 张清春, 刘宝元, 翟刚. 植被与水土流失研究综述. 水土保持研究, 2002, 9(4): 96-101.

[4] 隋洪智, 田国良, 李付琴. 农田蒸散双层模型及其在干旱遥感监测中的应用. 遥感学报, 1997, 1(3): 220-224.

[5] Marticorena B, Bergametti G, Gillette D, Belnap J. Factors controlling threshold friction velocity in semiarid and arid areas of the United States. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(D19): 23277-23287.

[6] Sellers P J, Tucker C J, Collatz J, Los S O, Justice O, Dazlich D A, Randall D A. A revised land surface parameterization (SiB2) for atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data. Journal of Climate, 1996, 9(4): 706-737.

[7] 张云霞, 李晓兵, 陈云浩. 草地植被覆盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述. 地球科学进展, 2003, 18(1): 85-93.

[8] 杨燕明, 郑凌虹, 文洪涛, 陈本清, 阮海林, 罗凯. 无人机遥感技术在海岛管理中的应用研究. 海洋开发与管理, 2011, 28(1): 6-10.

[9] 陈本清, 杨燕明, 郑凌虹, 文洪涛. 基于 SIFT 和 TPS 算法的四旋翼无人机图像自动配准. 遥感技术与应用, 2013, 28(4): 604-609.

[10] 袁红伟, 李守中, 郑怀舟, 方舟易. 外来种互花米草对中国海滨湿地生态系统的影响评价及对策. 海洋通报, 2009, 28(6): 122-128.

[11] Talley T S, Levin L A. Modification of sediments and macrofauna by an invasive marsh plant. Bilological Invasions, 2001, 3(1): 51-68.

[12] Zhang Y H, Ding W X, Luo J F, Donnison A. Changes in soil organic carbon dynamics in an Eastern Chinese coastal wetland following invasion by a C_4 plant *Spartina alterniflora*. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(10): 1712-1720.

[13] 孙飒梅. 三都湾互花米草的遥感监测. 台湾海峡, 2005, 24(2): 223-227.

[14] 张忍顺, 沈永明, 陆丽云, 燕守广, 王艳红, 李加林, 张正龙. 江苏沿海互花米草(*Spartina alterniflora*)盐沼的形成过程. 海洋与湖沼, 2005, 36(4): 358-366.

[15] 方民杰. 福建沿岸海域互花米草的分布. 台湾海峡, 2012, 31(1): 100-104.

[16] 左平, 刘长安, 赵书河, 王春红, 梁玉波. 米草属植物在中国海岸带的分布现状. 海洋学报, 2009, 31(9): 101-111.

[17] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法. 北京: 科学出版社, 2003.

[18] 张建香, 张勃, 尹海霞, 王媛媛, 赵一飞. 2000-2011年黄土高原植被景观格局变化. 生态学杂志, 2013, 32(2): 452-458.

[19] Hu Z Q, He F Q, Yin J Z, LU X, Tang S L, Wang L L, Li X J. Estimation of fractional vegetation cover based on digital camera survey data and a remote sensing model. Journal of China University of Mining and Technology. 2007, 17(1): 116-120.

[20] 肖洋, 熊勤犁, 欧阳志云, 徐卫华, 肖燚, 肖强. 基于MODIS数据的重庆市植被覆盖度动态变化研究. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(7): 121-126.

[21] 朱吉生, 李纪人, 黄诗峰, 臧文斌. 近30年十大孔兑流域植被覆盖度空间变化的遥感调查与分析. 中国水土保持, 2015, (7): 68-70.

[22] 蔡朝朝, 安沙舟, 蒲智, 淮永建. 基于TM NDVI的库尔勒市域植被覆盖动态变化. 草业科学, 2015, 32(7): 1069-1078.